

文章编号: 1000-8241(2018)02-0236-05

中俄东线明水支线站场分输设计的影响因素及建议

张炳宏¹ 刘佳霖² 黄薇薇³ 张鑫¹

1. 中国石油管道局工程有限公司东北分公司; 2. 中国石油天然气销售内蒙古分公司; 3. 中国石油管道科技研究中心

摘要: 中俄东线东北地区管道建设面临环境温度低、经济低迷、干线运行压力远高于用户需求压力等问题,以明水支线的设计为例,论述了最低设计温度的选取及设计温度下管材韧性指标的要求,针对经济低迷带来的间歇输送问题提出了相应的解决办法,对于调压造成节流能量损失和加热带来的能量消耗问题,从能量守恒角度提出了相应的解决思路。该研究成果为今后东北地区天然气支线的站场分输设计提供了指导,具有一定的借鉴意义。(表2,参20)

关键词: 环境温度; 调压; 设计温度; 韧性指标; 电伴热

中图分类号: TE832

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2018.02.018

Influential factors and suggestions on the offtake design of China-Russia Eastern Gas Pipeline Mingshui branch pipeline station

ZHANG Binghong¹, LIU Jialin², HUANG Weiwei³, ZHANG Xin¹

1. Northeast Branch, China Petroleum Pipeline Engineering Co. Ltd.; 2. PetroChina North China Gas Marketing Company Inner Mongolia Branch; 3. PetroChina Pipeline R & D Center;

Abstract: The construction of China-Russia East Gas Pipeline in Northeast China is faced with a series of problems, e.g., low ambient temperature, economic downturn and the operating pressure of trunk pipeline which is much higher than the pressure demanded by users. In this paper, the design of the Mingshui branch pipeline was taken as an example for study. The selection of the lowest design temperature and the requirement on the pipeline toughness index under the design temperature were discussed. Then, solutions to the intermittent transportation caused by economic downturn were put forward correspondingly, and the solving methods for the throttling energy loss caused by pressure regulation and the energy consumption caused by heating were proposed correspondingly from the perspective of energy conservation. The research results can be used as the guide and reference for the offtake design of stations of natural gas branch pipelines in Northeast China in the future. (2 Tables, 20 References)

Key words: ambient temperature, pressure regulation, design temperature, toughness index, electric heat tracing

中俄东线干线起自黑龙江省黑河市中俄边境,止于上海市白鹤末站,途经黑龙江、吉林、内蒙、辽宁、河北、天津、山东、江苏、上海共9省市,干线全长3 032 km,设计输量 $380 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,设计压力12 MPa/10 MPa,设计管径1 422 mm/1 219 mm/1 016 mm。其建设为中国东北地区的天然气管网建设提供了充足的资源,东北地区的天然气管网建设将随之开展,因而对改变当前以煤为主的能源消费结构提供了契机。

中俄东线明水支线全长177 km,起自明水分输压气站,设兰西分输站、哈尔滨北站、绥化末站3座站场,

设计压力12 MPa、管径559 mm/219.1 mm、设计输量 $10.04 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。明水支线地处中国东北严寒地区,环境温度低,且管道沿线城市规模小,经济发展相对滞后,天然气市场需求量小。因此,环境温度低、间歇输送及调压能量损失成为站场分输设计面临的巨大问题。

1 环境温度低

在低温条件下,金属材料韧性降低,脆性增加,对钢管的力学性能提出了更高的要求。冲击韧性反映

材料的塑性变形和断裂过程吸收能量的能力,是材料强度和塑性的综合反映,也是抗断裂、止裂的主要指标^[1]。提出在低温条件下材料的韧性指标是预防管道脆性破坏的最有效办法^[2]。因此,在明水支线的站场分输设计中需要确定最低设计温度及最低设计温度下材料的韧性指标^[3-4]。

1.1 最低设计温度

对比国内外相关标准对设计温度的定义和规定,对最低设计温度的定义不尽相同,但本质上是一样的,即最低设计温度用于确定材料的低温性能指标,取最低设计金属温度。对于地面管道,最低设计温度取决于当地最低环境温度,但是对于最低环境温度如何选取,各标准的规定并不一致^[5]。

不同标准规范对最低环境温度有不同的取值:GB 50251—2015《输气管道工程设计规范》、ASME B31.8-2014《输气和配气管道系统》等标准未明确最低环境温度的取值;TSG D0001—2009《压力管道安全监测规程 工业管道》、GB 150—2011《压力容器》、HG/T 20570—1995《工艺系统工程设计技术规范》等标准对于最低环境温度均规定为历年来月平均最低气温的最低值;DNV-OS-C101-2010《海洋工程钢结构设计规范》、SAES-D-001-2005《压力容器设计标准》、DEP 30.10.02.31-Gen-1995《金属材料—防止在新设施中的脆性断裂》、BS EN 14015-2004《在室温和高于室温条件下液体储存所用现场建造的立式、圆柱形、平底、地上用焊接钢储罐的设计和制造规范》等标准的最低环境温度选取历年来最低日平均气温。

西二线、中亚等工程最低设计温度取历年来极端最低气温,陕三线和漠大线等工程最低设计温度取历年来月平均最低气温的最低值。西伯利亚力量管道(中俄东线俄境内段)俄方提供的压气站和计量站有关

钢管的技术条件,要求在最低操作温度 -40°C 下进行夏比冲击试验;加拿大CSA Z662-2011《石油和天然气管道系统》提到的地面管道典型温度为 -45°C ,俄罗斯和加拿大在寒冷地区建设管道有着丰富的经验,从这两个国家的取值来看,最低设计温度取值应当与历年来极端最低气温差约 10°C ^[3]。

明水支线3座站场历年来的极端最低气温为 -38.1°C ,历年来最低日平均气温约为 -33.7°C ,历年来月平均最低气温的最低值为 -24.8°C 。最低日平均气温和极端最低气温的差值为 4.4°C ,月平均最低气温的最低值和极端最低气温的差值为 13.4°C 。

结合国内外已有标准、著名管道工程做法及明水支线温度统计数据,最终确定明水支线站内地上管道的最低环境温度取历年来最低日平均气温,即最低设计温度为 -33.7°C 。

1.2 材料的韧性指标

中俄东线设计温度为 -45°C ,明水支线作为中俄东线的重要组成部分,虽然最低设计温度为 -33.7°C ,但为便于统一采购订货,明水支线钢管的韧性冲击试验温度与中俄东线取值保持一致,即取 -45°C 。

明水支线要求对站场钢管母材、焊缝金属和焊缝热影响区在 -45°C 进行夏比V形缺口冲击试验,确定其夏比冲击功值,从而保证了材料的脆性转变温度低于材料的最低使用温度。在使用温度条件下,有足够的防脆性开裂能力和裂纹扩展的止裂能力,从根本上保证了明水支线在低温环境下的安全运行。

明水支线站场钢管管径不大于762 mm,钢管等级在L245-L485之间。夏比V形缺口冲击试验试件尺寸为 $10\text{ mm}\times 10\text{ mm}\times 55\text{ mm}$,在 -45°C 温度下钢管母材、焊缝金属和焊缝热影响区的夏比冲击功应符合要求(表1)。

表1 明水支线钢管夏比冲击韧性要求

管径 D/mm	取样位置	钢管等级 R	各种强度级别钢管夏比冲击功/J	
			3个试样最小平均值	单个试样最小平均值
$D\leq 508$	焊接接头	L245	27	20
		$L245<R\leq L485$	27	20
	管体母材	L245	27	20
		$L245<R\leq L485$	40	30
$508<D\leq 762$	焊接接头	L245	—	—
		$L245<R\leq L485$	27	20
	管体母材	L245	—	—
		$L245<R\leq L485$	54	40

2 间歇输送

通过合理确定最低设计温度及规定相应温度下钢管的夏比冲击功值,可以保证低温下管道的安全运行。但是,分输用户的市场需求量小给低温环境下的

分输设计带来了新的难题。明水支线用气市场为绥化市和哈尔滨市,分输用户包括绥化末站的中油金鸿、哈尔滨北站的天辰燃气、哈中庆燃气,其中哈中庆燃气的市场需求量较大,中油金鸿及天辰燃气的市场需求量较小(表2)。

表2 明水支线用气市场未来7年需求量

分输站	用户	需求量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)						
		2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年
绥化末站	中油金鸿	3.7	4.3	4.3	5.7	5.7	5.7	7.4
	天辰燃气	8.6	11.4	14.3	17.1	20.0	22.9	25.7
	哈中庆燃气	22.0	24.9	48.9	76.3	104.6	124.6	140.6

中油金鸿、天辰燃气的市场需求量小,当管道正常运行时,因设有加热设施,能够满足调压后天然气出站温度不低于0℃的要求。只要管输天然气运行温度高于天然气水露点,气体处于未饱和状态,管道内就不会有液态水析出。但是,根据东北地区投产的支线管道运行经验,此类用户尤其是投产初期,存在间歇输送的情况。停输时站场内天然气在管道内不流动,天然气温度会在短时间内降至环境温度,如环境温度低于天然气的水露点,天然气将过饱和,因而析出液态水。管道中出现液态水,会降低天然气管道的输送效率,加快管壁内腐蚀速率。同时,在高压低温运行条件下,可能生成气体水合物,严重时将发生水合物聚集以致堵塞设备或管道,甚至造成管道爆裂。此外,由于站内过滤分离设备后也会出现液态水,造成天然气含水量超标、下游用户不接收等问题^[6-10]。

在冬季间歇输送时,为避免管输天然气介质温度低于天然气的水露点,一般可考虑天然气站内循环、放空、增加伴热等解决方案。

由于明水支线分输站工艺流程为过滤、加热、计量、调压、分输,如在过滤设施后采用天然气站内循环方案,需要增加设备将调压后的天然气加压输送至加热器入口,因而造成流量计反复计量,故该方案不能满足明水支线的工艺输送及计量要求。

在管道间歇输送时,可在管道内介质温度降至水露点之前,将天然气放空,以避免析出液态水,给管道带来危害。但是,该措施将会损失大量天然气,造成巨大的经济损失,故该方案不合理。

明水支线对中油金鸿、天辰燃气两路分输用户的管道采取电伴热保温设计^[11]。电伴热带有自动启停功能,可维持天然气温度不低于水露点。当分输用户

正常运行时,天然气温度高于水露点且高于0℃,电伴热不启动;当分输用户停输且管内天然气温度降至设定温度时,电伴热才启动。因此,电伴热设备不会增加太多能耗,同时能够有效避免停输时管道析出液态水,造成天然气含水量超标,甚至冰堵等问题。

3 调压

明水支线设计压力为12 MPa,用户需求压力为2.5~4.0 MPa。上游压力需要经过调压系统降压后供给用户,会造成大量能量损失。在调压的同时,天然气温度大幅度下降,为保证调压后温度满足输送要求,需要增补加热设施,因而增加了能量损耗。在南方温度较高的地区,可能只损失调压的能量,不需要增补加热设施,故该问题不明显。但在寒冷的东北地区,压力能的损失和热能的消耗需要叠加,该问题凸显出来,因此,东北地区分输设计需要考虑更多的能量损失和热量消耗问题。

明水支线在设计中没能解决该问题,但是设计中也在思索,是否可以将节流降压造成温度下降的冷能利用起来^[12],如发电后直接供给天然气分输站^[13-14]、建设冷库^[15-16]、制冰^[17-18]、低温粉碎等^[19-20]。在利用该冷能的同时,天然气经过该流程后温度升高,这样既利用了节流损失的能量,又能够减少甚至不再需要给天然气升温而消耗能量。

4 结束语

东北地区天然气的输送,除了考虑管道在低温下的安全性,还需考虑市场需求量、管道运行方式等带

来的问题。分析可知,中俄东线明水支线通过确定最低设计温度,对钢管韧性指标提出要求,并对存在间歇输送的分输支路采取电伴热保温等措施,从而保证管道运行的安全性和合理性。但是东北地区分输支线的能量损失和消耗问题目前尚未解决,建议今后从能量守恒的角度考虑,找到避免能量损失和热量消耗的有效方法。

参考文献:

- [1] 赵翠玲,李小瑜,王晓红,等. 中亚天然气管道工艺细节设计[J]. 油气储运,2012,31(3):235-237.
- ZHAO C L, LI X Y, WANG X H, et al. Process-oriented design of Trans-Asia Natural Gas Pipeline[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2012, 31(3): 235-237.
- [2] 杨汗青,潘亚东,吴惠芳. 天然气工程中低温钢的选用[J]. 天然气与石油,2008,26(5):22-25.
- YANG H Q, PAN Y D, WU H F. Selection of low temperature steel in natural gas project[J]. Natural Gas and Oil, 2008, 26(5): 22-25.
- [3] 尤泽广,王成,傅伟庆. 中俄东线站场低温管件设计[C]. 哈尔滨: 油气储运技术中心站,2017:2.
- YOU Z G, WANG C, FU W Q. Design of fitting in China-Russia East Natural Gas Pipeline station at low temperature[C]. Haerbin: Oil and Gas Storage and Transportation Technology Center, 2017: 2.
- [4] 孙学军. 中俄东线站内钢管低温韧性指标[C]. 哈尔滨: 油气储运技术中心站,2017:3.
- SUN X J. Low temperature toughness of steel pipe in station of China-Russia East Natural Gas Pipeline[C]. Haerbin: Oil and Gas Storage and Transportation Technology Center, 2017: 3.
- [5] 邓贵德,孙亮,寿比南,等. 低温环境下地面输气管道最低温度计算方法[J]. 天然气工业,2013,33(7):96-100.
- DENG G D, SUN L, SHOU B N, et al. Calculation methods for the minimum wall temperature of ground gas pipelines in a low temperature environment[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(7): 96-100.
- [6] 史博会,钱亚林,王华青,等. 管输天然气含水量/水露点的计算方法[J]. 油气储运,2012,31(3):188-191.
- SHI B H, QIAN Y L, WANG H Q, et al. Calculation method of water content/water dew point of natural gas[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2012, 31(3): 188-191.
- [7] 许彦博,赵小川,王康,等. 西气东输二线冰堵问题与处理[J]. 油气储运,2012,31(8):636-639.
- XU Y B, ZHAO X C, WANG K, et al. Ice blockage problem in the 2nd West-to-East Gas Pipeline and its solutions[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2012, 31(8): 636-639.
- [8] 郑亚星,饶永超,王树立,等. 基于螺旋流的天然气管道水合物安全流动模型[J]. 油气储运,2017,36(2):192-198.
- ZHENG Y X, RAO Y C, WANG S L, et al. A flow assurance model for hydrates in natural gas pipelines based on spiral flow[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2017, 36(2): 192-198.
- [9] 宋光春,李玉星,王武昌,等. 油气管道水合物解堵工艺及存在问题[J]. 油气储运,2016,35(8):823-827.
- SONG G C, LI Y X, WANG W C, et al. Removal process of hydrate blockages in oil/gas pipelines and existing problems[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35(8): 823-827.
- [10] 阮超宇,史博会,丁麟,等. 天然气水合物生长及堵管规律研究进展[J]. 油气储运,2016,35(10):1027-1037.
- RUAN C Y, SHI B H, DING L, et al. Research progress on the growth and plugging laws of gas hydrates[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35(10): 1027-1037.
- [11] 杨文川,谌贵宇,鲜宁,等. 输气站场低温工况设计要点[C]. 哈尔滨: 油气储运技术中心站,2017:1.
- YANG W C, SHEN G Y, XIAN N, et al. Key points for low temperature condition design of gas transportation station[C]. Haerbin: Oil and Gas Storage and Transportation Technology Center, 2017: 1.
- [12] MIYAZAKI T, KANG Y T, AKISAWA A, et al. A combined power cycle using refuse incineration and LNG cold energy[J]. Energy, 2000, 25(7): 639-655.
- [13] 杨红昌. 液化天然气(LNG)冷能发电系统的优化研究[D]. 北京: 北京工业大学,2010:27-31.
- YANG H C. Optimization of power generation system based on cold energy of liquefied gas (LNG)[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2010: 27-31.
- [14] 杨经敏. LNG冷能发电梯级利用法的优化[J]. 油气储运,2016,35(4):401-405.
- YANG J M. Optimization of cascade utilization of LNG cold energy for power generation[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35(4): 401-405.

- [15] REMELJET C W, HOADLEY A F A. An energy analysis of small-scale liquefied natural gas (LNG) liquefaction processes[J]. Energy, 2006, 31(12): 2005-2019.
- [16] 刘宗斌, 黄建卫, 徐文东. LNG 卫星站冷能用于冷库技术开发及示范[J]. 城市燃气, 2010(9): 8-11.
- LIU Z B, HUANG J W, XU W D. Technology development and the demonstration of cold energy utility in satellite LNG plants for cold storage[J]. Urban Gas, 2010(9): 8-11.
- [17] 李俊丽, 陈丽娟. LNG 冷能用于干冰和 LCO₂ 技术开发及应用[J]. 广州化工, 2015, 43(21): 167-170.
- LI J L, CHEN L X. Technological development and application of LNG cold energy in dry ice and LCO₂[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2015, 43(21): 167-170.
- [18] 陈宏燕, 袁丹, 徐文东. LNG 冷能制冰项目建设及问题探讨[J]. 广东化工, 2015, 42(15): 138-140.
- CHEN H Y, YUAN D, XU W D. Discussion on project construction and the problem of ice cold energy of LNG[J].

Guangdong Chemical Industry, 2015, 42(15): 138-140.

- [19] 吴小华, 蔡磊, 李庭宇, 等. LNG 冷能利用技术的最新进展[J]. 油气储运, 2016, 35(6): 624-635.
- WU X H, CAI L, LI T Y, et al. Latest progress of LNG cold energy utilization technology[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35(6): 624-635.
- [20] KIM T S, RO S T. Power augmentation of combined cycle power plants using cold energy of liquefied natural gas[J]. Energy, 2000, 25(9): 841-856.
- (收稿日期: 2017-09-04; 修回日期: 2017-11-29; 编辑: 张雪琴)

作者简介: 张炳宏, 男, 1976 年生, 高级工程师, 1999 年毕业于中国石油大学(华东)石油天然气储运工程专业, 现主要从事长输油气管道的设计工作。地址: 辽宁省沈阳市皇姑区昆山中路 83 号, 110031。电话: 13804972305, Email: zbhsnow@126.com

(上接第 209 页)

- gas-liquid filtration performance of oleophilic filters[J]. CIESC Journal, 2017, 68(4): 1442-1451.
- [17] 常程, 姬忠礼, 黄金斌, 等. 气液过滤过程中液滴二次夹带现象分析[J]. 化工学报, 2015, 66(4): 1344-1352.
- CHANG C, JI Z L, HUANG J B, et al. Analysis of re-entrainment in process of gas-liquid filtration[J]. CIESC Journal, 2015, 66(4): 1344-1352.
- [18] MEAD H R, KING A J C, MULLINS B J. Aerosol-mist coalescing filters - A review[J]. Separation and Purification Technology, 2014, 133(9): 484-506.
- [19] MULLINS B J, MEAD-HUNTER R, PITTA R N, et al. Comparative performance of philic and phobic oil-mist filters[J]. AIChE Journal, 2014, 60(8): 2976-2984.
- [20] 杨云兰, 姬忠礼, 邹峰, 等. XGF 型组合式过滤分离器[J]. 石油科技论坛, 2015, 34(增刊 1): 120-122.
- YANG Y L, JI Z L, ZOU F, et al. XGF combined filter separator[J]. Oil Forum, 2015, 34(S1): 120-122.
- [21] 尚明华. 天然气聚结过滤分离技术应用[J]. 广州化工, 2014, 42(16): 132-134.

SHANG M H. Application of natural gas liquid gas coalescer[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2014, 42(16): 132-134.

- [22] 谭旭, 田春雨. 过滤分离器结构的优化分析[J]. 过滤与分离, 2013, 23(2): 26-28.
- TAN X, TIAN C Y. Optimization analysis of filter/separator structure[J]. Journal of Filtration & Separation, 2013, 23(2): 26-28.
- (收稿日期: 2016-09-27; 修回日期: 2017-11-23; 编辑: 刘朝阳)

基金项目: 国家科技重大专项资助项目“煤层气田低压集输工艺技术及关键设备研究”, 2011ZX05039-001.

作者简介: 陈仕林, 男, 1983 年生, 工程师, 2017 年博士毕业于中国石油大学(北京)油气储运工程专业, 现主要从事煤层气田地面集输工艺技术研究 and 现场相关工作。地址: 北京市东城区安外大街甲 88 号 1001 室, 100011。电话: 010-64299994, Email: chenshilin0720@163.com